

LES PRINCIPAUX APPORTS

DU COLLOQUE INTERNATIONAL

"SIGNATURES SPECTRALES D'OBJETS EN TELEDETECTION"

dans le domaine spectral du visible et du proche infra-rouge

§

G. GUYOT - INRA (station de bioclimatologie)- BP 91 - 84140 MONTFAVET - FRANCE

G. SAINT - CNES - 18 avenue Edouard Belin - 31055 TOULOUSE CEDEX - FRANCE

Le visible et le proche infra-rouge ont été les premiers domaines spectraux dans lesquels les études de télédétection ont été entreprises ; aussi, ce domaine est celui dans lequel les recherches sont les plus développées comparativement à l'infra-rouge thermique et aux micro-ondes.

Le colloque d'Avignon a été une image fidèle de cet état des recherches puisque la majorité des communications présentées concernaient le domaine visible et proche infra-rouge (36 communications sur 54).

Les sujets qui ont été traités étaient très diversifiés, et pour ce compte-rendu, nous les avons regroupés selon trois rubriques correspondant aux thèmes des trois journées du colloque :

I. LES EQUIPEMENTS ET LES METHODES DE DETERMINATION DES PROPRIETES SPECTRALES DES OBJETS

Les communications présentées sur ce thème ont traité des analyses des propriétés spectrales des objets à différentes échelles : du laboratoire au satellite.

I.1. Les différents types d'équipements et de méthodologies de mesure

On peut classer les équipements et les méthodologies de mesure qui leur sont attachées selon trois types correspondant à trois échelles différentes.

I.1.1. Les études de laboratoire

Les instruments utilisés à cette échelle sont les spectrophotomètres. Ils permettent l'identification des caractéristiques spectrales relativement fines des différents objets et la détermination des meilleures bandes spectrales permettant la mise en évidence de certaines de leurs propriétés (Ahernetal ; Baldy, Triguy ; Brunel et al ; Cerveille, Maquet, Bothorel ; Oester ; Sandwald ; Walter, Koch).

Comme ce sont des appareils de laboratoire, difficilement déplaçables, il est nécessaire de transporter jusqu'à eux les échantillons étudiés. Lorsque les échantillons peuvent évoluer rapidement dans le temps, comme les organes vétérinaires par exemple, il est nécessaire de résoudre avant tout autre chose les problèmes de conservation et de transport de ceux-ci pour que les mesures soient représentatives de l'état de l'échantillon sur le terrain.

I.1.2. Les mesures au sol sur le terrain

Pour ces études, on utilise généralement des radiomètres équipés de filtres définissant des bandes spectrales relativement larges (Van Kasteren ; Milton ; Bauer et al). Ils sont plus faciles à manipuler que les spectroradiomètres et permettent de multiplier les mesures sur le terrain, toutefois dans des conditions moins bien contrôlées qu'au laboratoire. Leur intérêt est de permettre d'aborder les analyses statistiques des données radiométriques et de généraliser les résultats obtenus au laboratoire.

I.1.3. Les mesures aéroportées

Les vols de simulation radiométriques effectués avec des scanners permettent d'introduire dans les données la variabilité spectrale grâce à l'accroissement du nombre de mesures. Mais en même temps, on introduit l'effet de paramètres d'environnement qui ne sont pas contrôlés, ce qui complique les interprétations (Saint, Podaire, Anglade, Bégni).

I.2. Les nouvelles orientations de recherche

En dehors des études radiométriques devenues classiques maintenant, deux nouvelles orientations de recherche sont apparues :

- l'extension des études radiométriques dans l'infra-rouge moyen jusqu'à 2,5 μ m en vue de la disponibilité prochaine des données de LANDSAT D Thematic Mapper (Bauer et al)
- l'utilisation de la polarisation linéaire du rayonnement solaire par les couverts végétaux pour caractériser l'évolution de leur structure géométrique liée à leur phénologie (Vanderbilt et al)

I.3. Recommandations

La présentation de différentes méthodes et techniques de mesure a amené les participants à émettre un certain nombre de recommandations dont la plus importante est probablement d'avoir une bonne connaissance de toutes les conditions de mesure afin de permettre la comparaison des données acquises.

Il faut tout d'abord que les appareils soient bien étalonnés et que les champs de visée et les bandes spectrales soient bien définis. Il est en effet important de connaître précisément les limites des bandes spectrales, notamment lorsqu'elles se situent au voisinage d'une variation brusque des propriétés optiques de l'objet étudié (exemple : la bande rouge pour l'étude de la végétation).

Les données radiométriques dépendent également du champ de visée du radiomètre utilisé. Il faut, en effet, que la surface élémentaire visée intègre les variations locales des données radiométriques dues à l'hétérogénéité de la surface (sol, surface d'eau, couvert végétal ...). Il faut donc que la surface visée soit suffisamment grande, sinon la variabilité des mesures sera fortement accrue. Les comparaisons avec des données acquises dans d'autres conditions sera alors difficile.

Enfin, pour pouvoir comparer des mesures, il faut également savoir dans quelles conditions elles ont été effectuées : conditions géométriques d'observation, conditions d'éclairage, paramètres atmosphériques...

II. LES RELAT

Les diffé
modes d'approc

- une modélisa
objets et leur

- une approche
téristiques de

Elles ont
types de propr
propriétés opt

II.1. La m

II.1.1

FIGURE 1

La fi
être décompos
d'un organe v
rentes phases
culture, la t
téristiques s
structure géo
propriétés op

Il fa
que d'un couv

II. LES RELATIONS ENTRE LES CARACTERISTIQUES D'UN OBJET ET SES PROPRIETES SPECTRALES

Les différentes communications présentées sur ce thème ont fait apparaître deux modes d'approche différents de ces problèmes :

- une modélisation physique tentant d'expliquer les liens entre caractéristiques des objets et leurs propriétés spectrales,
- une approche purement statistique visant à établir des corrélations entre les caractéristiques des objets et leurs propriétés spectrales.

Elles ont également montré clairement la nécessité de prendre en compte deux types de propriétés des objets étudiés : leurs propriétés géométriques et leurs propriétés optiques.

II.1. La modélisation physique des propriétés des couverts végétaux

II.1.1. Relations entre la structure géométrique des couverts végétaux et leur production

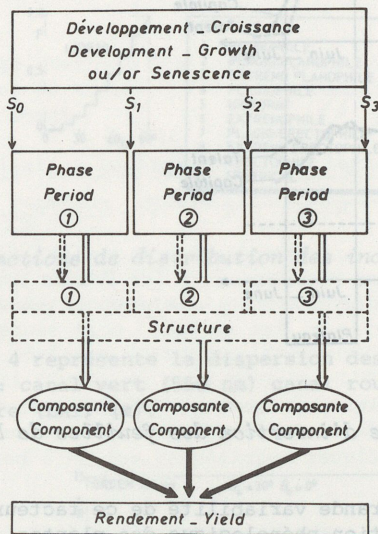


FIGURE 1 - Schéma de fonctionnement des plantes annuelles

La figure 1 (Malet, Bonhomme) montre que la vie d'une plante annuelle peut être décomposée en différentes phases. Chacune d'elles correspond à la croissance d'un organe végétal apparu lors d'un stade phénologique (S_0, S_1, \dots, S_n). Ces différentes phases vont contribuer au rendement final et pour suivre l'évolution de la culture, la télédétection devra essayer d'identifier chacune d'elles par ses caractéristiques spectrales. Chacune des phases se caractérise le plus souvent par une structure géométrique différente du couvert végétal et parfois également par des propriétés optiques différentes des organes végétaux.

Il faut donc déterminer les relations existant entre la structure géométrique d'un couvert végétal et ses propriétés optiques.

Un des paramètres importants de la structure d'un couvert végétal est l'inclinaison des feuilles. La figure 2 montre à titre d'exemple l'évolution de l'angle d'insertion des deux premières feuilles sur une tige de blé en fonction de la phénologie.

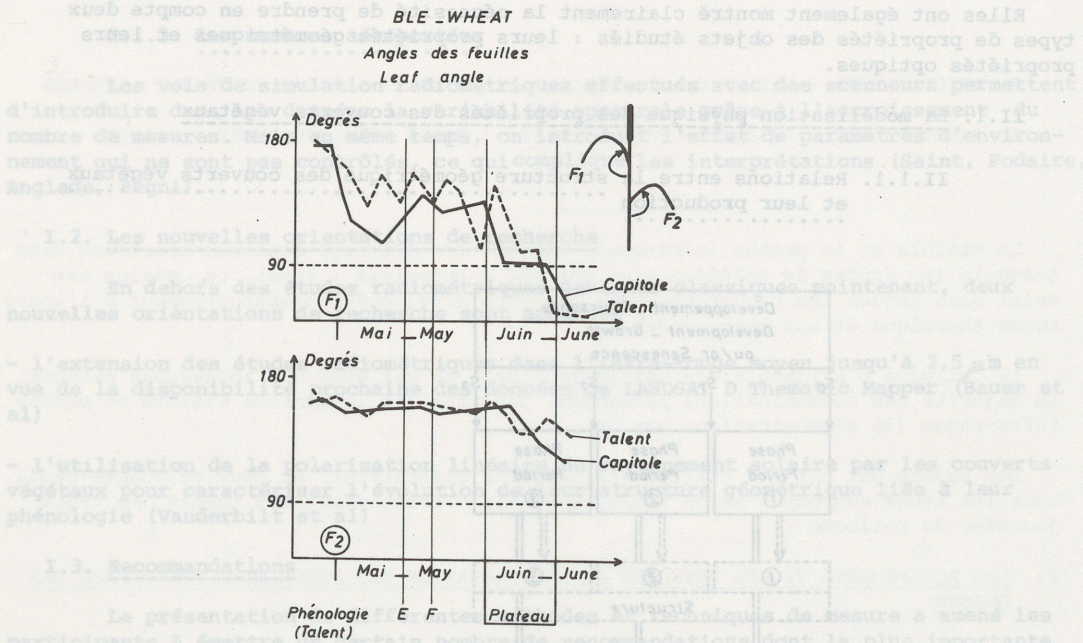


FIGURE 2 - Evolution de l'angle d'insertion des feuilles de blé

On peut remarquer la très grande variabilité de ce facteur dans le temps et sa bonne corrélation avec l'évolution phénologique des plantes. On peut noter également que ce phénomène dépend également de la variété choisie.

II.1.2. Relations entre la structure géométrique des couverts végétaux et leurs propriétés optiques

Cette question a été notamment abordée par l'exposé de Verhoef et Bunnick. Les modèles physiques qu'ils ont mis au point à partir des modèles de Suits (1972) prennent en compte les propriétés optiques des organes végétaux et la structure géométrique du couvert.

La figure 3 donne les différentes fonctions de distribution des inclinaisons des feuilles (LIDF) qui ont été utilisées dans les calculs.

Il faut donc déterminer les relations existant entre la structure géométrique d'un couvert végétal et ses propriétés optiques.

FIGURE 3

La fi
LIDF dans un p
de l'indice fo

(*) l'indice f

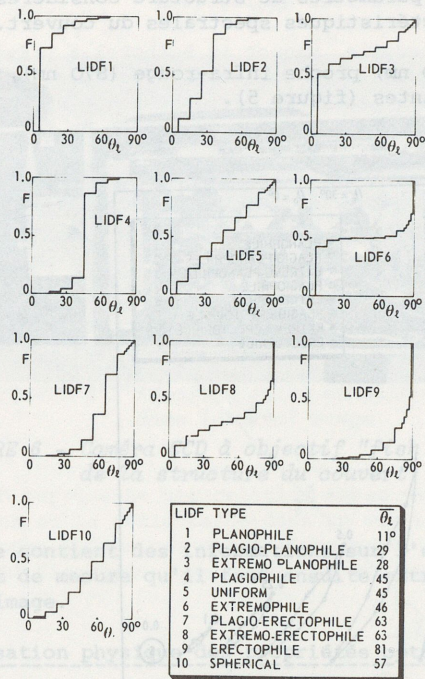


FIGURE 3 - Fonctions de distribution des inclinaisons des feuilles

La figure 4 représente la dispersion des points correspondant aux différentes LIDF dans un plan : canal vert (550 nm) canal rouge (660 nm) pour différentes valeurs de l'indice foliaire (LAI) (*).

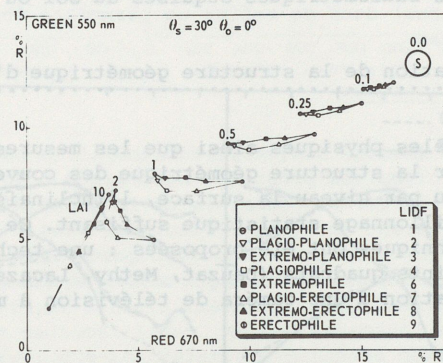


FIGURE 4 - diagramme des réponses dans les bandes rouge et verte pour différentes géométries de couvert végétal

(*) l'indice foliaire est la surface totale des feuilles par unité de surface du sol

Dans ce plan, les deux paramètres de structure considérés induisent des variations importantes des caractéristiques spectrales du couvert.

Dans le plan rouge (660 nm) proche infra-rouge (870 nm), ces variations peuvent être extrêmement importantes (figure 5).

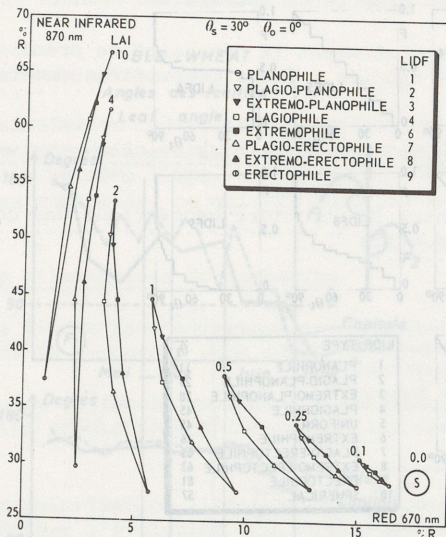


FIGURE 5 - Diagramme des réponses dans les bandes rouge et proche infra-rouge pour différentes géométries de couvert végétal

Ainsi, l'emploi de tels modèles physiques permet de mieux comprendre les causes des variations de signatures spectrales des couverts végétaux, ce qui facilite l'interprétation des données radiométriques acquises au sol ou à bord d'avions ou de satellites.

II.1.3. Caractérisation de la structure géométrique d'un couvert végétal en place

Les études sur modèles physiques ainsi que les mesures biologiques montrent la nécessité de caractériser la structure géométrique des couverts végétaux. Pour cela, il faut mesurer niveau par niveau la surface, l'inclinaison et l'orientation des feuilles avec un échantillonnage statistique suffisant. Ce type de mesure est long et délicat et deux techniques ont été proposées : une technique automatisée basée sur la méthode des points quadrats (Dauzat, Methy, Lacaze) et une technique nouvelle basée sur l'utilisation d'une caméra de télévision à mosaïque CCD (Guyot, Hanocq, Gurget).

Cette caméra est équipée d'un objectif "fish eye" ayant une image hémisphérique (figure 6). Elle est placée sous un couvert végétal en visée verticale et l'image obtenue est immédiatement digitalisée et stockée sur une minicassette.

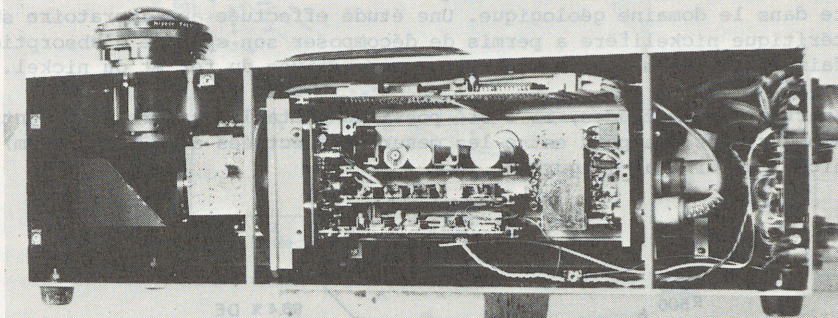


FIGURE 6 - Caméra CCD à objectif "fish eye" pour détermination de la structure du couvert

Cette image contient des informations sur l'ensemble du couvert végétal qui entoure le point de mesure qu'il faut ensuite extraire à l'aide d'un programme de traitement de l'image.

II.2. La Modélisation physique des propriétés optiques d'objets autres que les couverts végétaux

II.2.1. La réflectance de l'océan

Une étude des propriétés optiques des différentes substances particulières et dissoutes, contenues dans l'eau de mer, a permis d'établir un modèle simple donnant la réflectance des surfaces océaniques (Bricaud, Sathyendranath). La figure 7 montre que le modèle établi simule de façon précise l'évolution des propriétés optiques de l'océan en fonction des différentes teneurs en éléments dissouts et en particules en suspension.

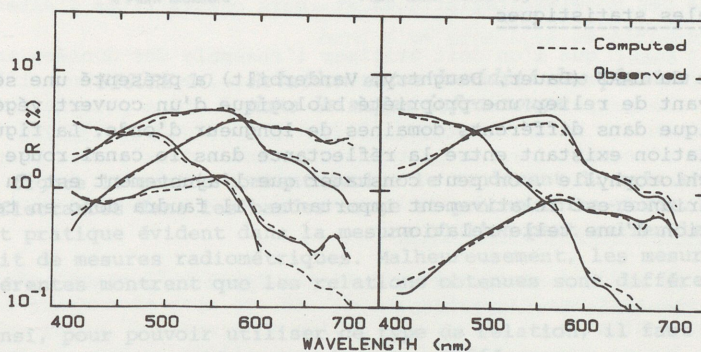


FIGURE 7 - Comparaisons de spectres de réflectance de l'eau par modélisation et par mesures

II.2.2. Détection de formations géologiques

La communication de Cervelle, Maquet et Bothorel a présenté une démarche intéressante dans le domaine géologique. Une étude effectuée au laboratoire sur un minéral latéritique nickelifère a permis de décomposer son spectre d'absorption, de manière à faire apparaître les contributions respectives du fer et du nickel.

A partir de ces études, il a été possible d'établir une relation entre les mesures radiométriques (rapport entre les mesures effectuées à 710 et 550 nm) et la teneur en nickel du minéral (figure 8).

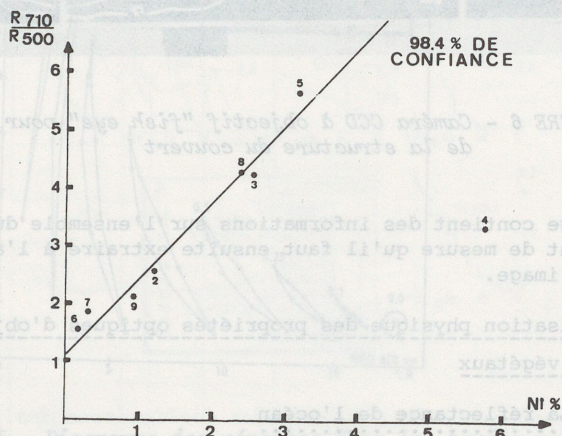


FIGURE 8 - Corrélation entre le quotient R_{710}/R_{500} et la teneur en nickel du minéral

Cette approche permet donc de relier un paramètre thématique intéressant, à des données radiométriques.

II.3. Les modèles statistiques

L'équipe du LARS (Bauer, Daughtry, Vanderbilt) a présenté une série d'études statistiques essayant de relier une propriété biologique d'un couvert végétal et sa réponse radiométrique dans différents domaines de longueur d'onde. La figure 9 montre par exemple la relation existant entre la réflectance dans le canal rouge (660 nm) et la densité de chlorophylle. On peut constater que l'ajustement est du second ordre et que la variance est relativement importante. Il faudra donc en tenir compte lors de l'utilisation d'une telle relation.

une démarche
atoire sur un
absorption, de
nickel.

tion entre les
550 nm) et la

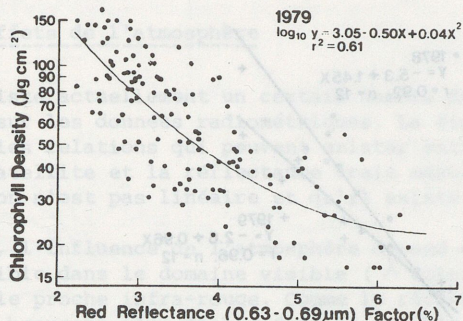


FIGURE 9 - Relation entre densité de chlorophylle et réflectance dans le canal rouge

La figure 10 représente une relation assez mal connue pour l'instant entre l'humidité des plantes et la réflectance dans un des nouveaux canaux de l'infra-rouge moyen de Thematic Mapper. L'analyse statistique montre l'existence effective d'une telle relation mais la dispersion des résultats est relativement importante.

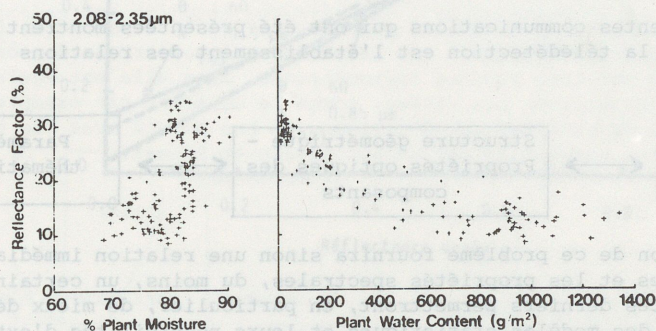


FIGURE 10 - Relation entre humidité des plantes et réflectance dans le moyen infra-rouge

La figure 11 montre comment évolue le rendement du maïs en fonction du rapport des réflectances dans les bandes rouge et proche infra-rouge. Ce type de relation a un intérêt pratique évident dans la mesure où l'on peut relier le rendement à un indice déduit de mesures radiométriques. Malheureusement, les mesures effectuées deux années différentes montrent que les relations obtenues sont différentes.

Ainsi, pour pouvoir utiliser ce type de relation, il faut déterminer quel est le paramètre qui est à l'origine de cette différence.

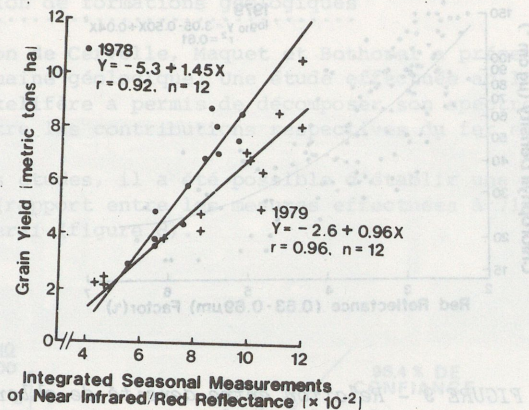
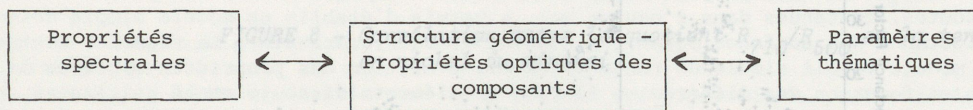


FIGURE 11 - Evolution du rendement d'une parcelle de maïs en fonction d'un indice calculé à partir des réflectances

La figure 11 illustre ainsi une des limitations des méthodes statistiques qui conduisent à des modèles utilisables seulement dans les conditions dans lesquelles ils ont été établis.

II.4. Conclusions générales

Les différentes communications qui ont été présentées montrent que le problème fondamental de la télédétection est l'établissement des relations



La résolution de ce problème fournira sinon une relation immédiate entre les propriétés thématiques et les propriétés spectrales, du moins, un certain nombre de modèles ou d'idées. Ces derniers permettront, en particulier, de mieux définir les domaines de validité des modèles statistiques et leurs possibilités d'extension.

Il apparaît aussi que l'on doit utiliser l'ensemble des données acquises. Il faut non seulement prendre en compte les valeurs moyennes, mais également leur distribution statistique. Les propriétés statistiques de second ordre peuvent par exemple, apporter des renseignements intéressants sur l'état phénologique et physiologique des plantes (la variance s'accroît lors de la transition entre deux stades phénologiques).

III. INFLUENCE DES CONDITIONS D'OBSERVATION

Les conditions de mesure sont décrites par deux types de paramètres : l'état de l'atmosphère et la géométrie d'observation.

III.1. Le

de l'atmosphère (Tanré) présente mesurée par un instrument qui mesure cette relation.

est surtout sa valeur qui est mesurée par un instrument qui mesure cette relation.

Réflectance apparente p

III.2. Le

lumineuse (géométrie d'observation) étudié.

La relation entre la réflectance apparente et la réflectance de surface est fonction de l'angle d'observation et de l'angle d'incidence des rayons solaires.

III.1. Les effets de l'atmosphère

Il existe actuellement un certain nombre de modèles décrivant l'influence de l'atmosphère sur les données radiométriques. La figure 12 (Deschamps, Herman, Tanré) présente les relations qui peuvent exister entre la réflectance apparente mesurée par un satellite et la réflectance vraie mesurée au sol. On peut remarquer que cette relation n'est pas linéaire et qu'il existe un décalage à l'origine.

Ainsi, l'influence de l'atmosphère dépend de la longueur d'onde et elle est surtout sensible dans le domaine visible (λ voisin de $0,5 \mu\text{m}$). Elle l'est beaucoup moins dans le proche infra-rouge. Comme la réflectance des surfaces naturelles est généralement beaucoup plus faible dans le visible que dans le proche infra-rouge, les perturbations relatives, dues à l'atmosphère, dans ce domaine, seront amplifiées.

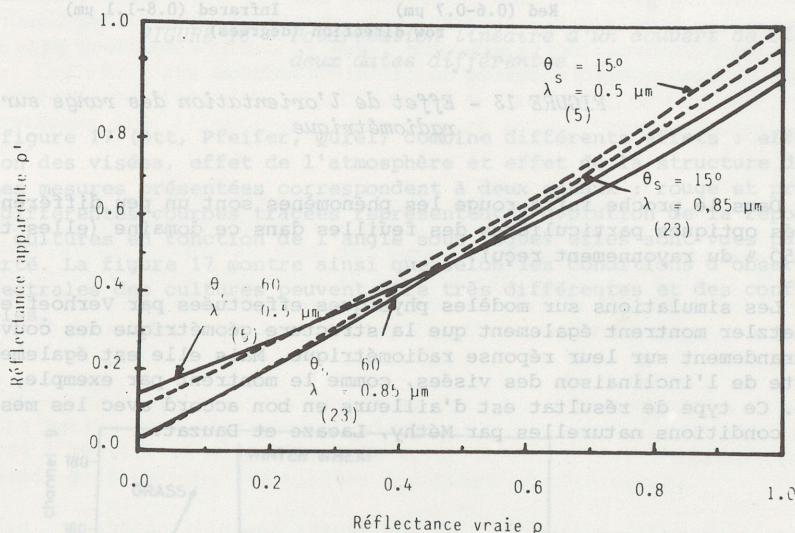


FIGURE 12 - Relation entre réflectance apparente mesurée à bord d'un satellite et réflectance au sol

III.2. Les effets de la géométrie d'observation

Trois paramètres permettent de la caractériser : la position de la source lumineuse (généralement le soleil), la position du capteur et la géométrie de l'objet étudié.

La figure 13 (Vanderbilt et al) représente l'effet de l'orientation des rangs d'une culture de soja sur sa réponse radiométrique dans les bandes rouge et proche infra-rouge, l'azimut du soleil étant pris comme référence. Lorsque les rayons solaires sont parallèles aux rangs, ils illuminent le sol qui, par contre, reste ombré pour les autres orientations. Cet effet d'orientation est très net dans le domaine visible et est d'autant plus sensible que le sol est clair.

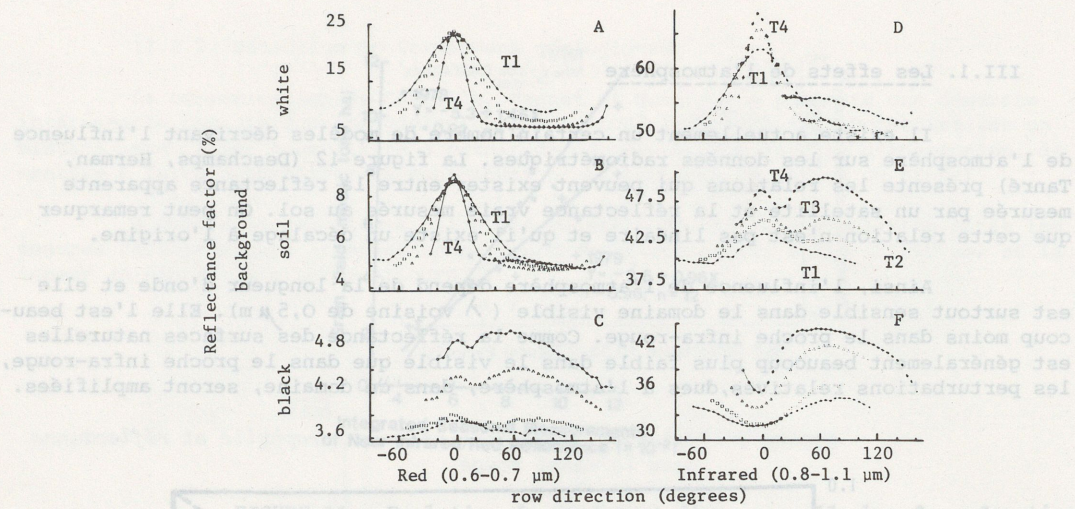


FIGURE 13 - Effet de l'orientation des rangs sur la réponse radiométrique

Dans le proche infra-rouge les phénomènes sont un peu différents à cause des propriétés optiques particulières des feuilles dans ce domaine (elles transmettent près de 50 % du rayonnement reçu).

Les simulations sur modèles physiques effectuées par Verhoef et Bunnick et par Schnetzler montrent également que la structure géométrique des couverts végétaux influe grandement sur leur réponse radiométrique. Mais elle est également fortement dépendante de l'inclinaison des visées, comme le montrent par exemple, les figures 14 et 15. Ce type de résultat est d'ailleurs en bon accord avec les mesures effectuées dans les conditions naturelles par Méthy, Lacaze et Dauzat.

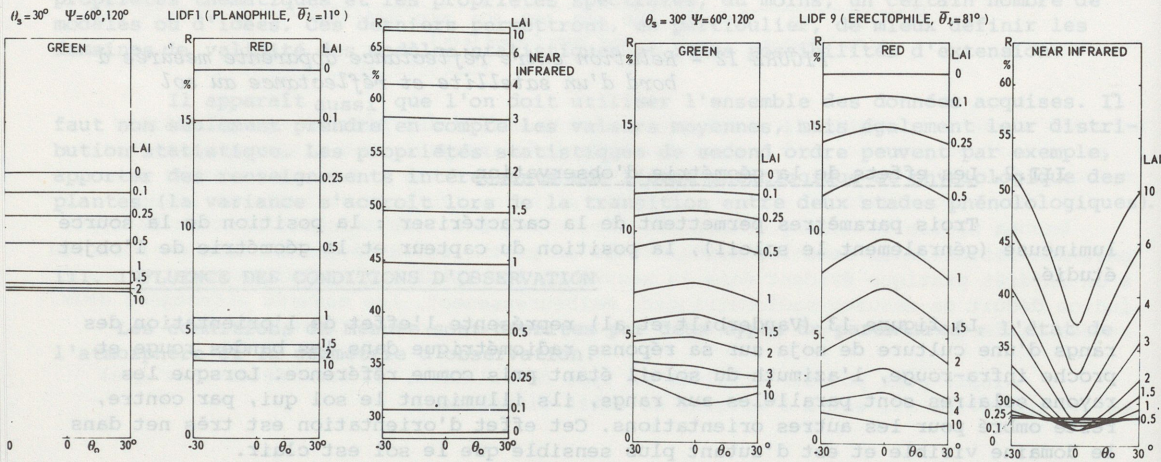
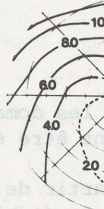


FIGURE 14 - Réflectance directionnelle pour un couvert planophile

FIGURE 15 - Réflectance directionnelle pour un couvert érectophile

Les tra également des r



La figu l'inclinaison d végétaux. Les m rouge. Les diff différentes cul neur aéroporté. réponses spectr sont possibles.

Les travaux de Vanderbilt et al. sur la polarisation de la lumière donnent également des résultats qui vont dans le même sens (figure 16).

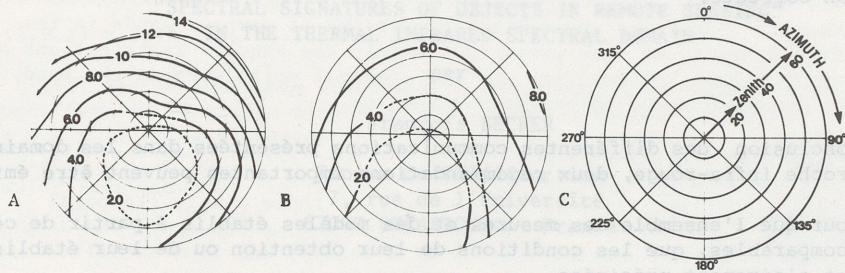


FIGURE 16 - Polarisation linéaire d'un couvert de blé à deux dates différentes

La figure 17 (Ott, Pfeifer, Quiel) combine différents effets : effet de l'inclinaison des visées, effet de l'atmosphère et effet de la structure des couverts végétaux. Les mesures présentées correspondent à deux canaux : rouge et proche infra-rouge. Les différentes courbes tracées représentent l'évolution de la réponse de différentes cultures en fonction de l'angle sous lequel elles sont vues par un scanner aéroporté. La figure 17 montre ainsi que selon les conditions d'observation, les réponses spectrales des cultures peuvent être très différentes et des confusions sont possibles.

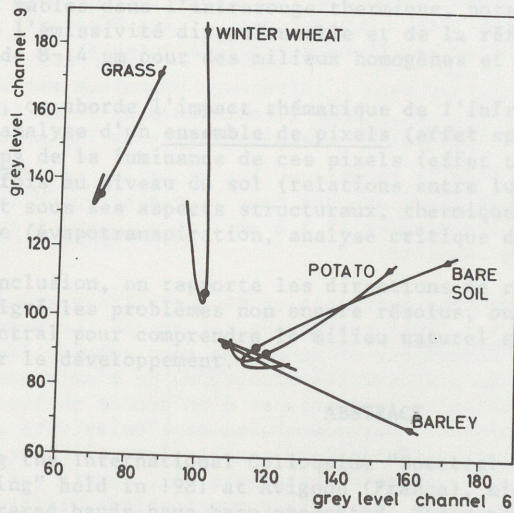


FIGURE 17 - Variabilités des mesures dues à l'angle d'observation dans le plan rouge / proche infra-rouge pour différents couverts

de l'atmosphère
 (Tare) présent
 mesurée par
 que cette r
 est surtout
 coup dans
 est générale
 les pertu
 sur la réponse
 différents à cause des
 Les transmettent
 ef et Bunnick et
 couverts végétaux
 alement fortement
 ple, les figures
 s mesures effectuées

